

Alocação de Comprimentos de onda em Redes Ópticas Translúcidas utilizando Computação Evolucionária

Silva, R. C. L.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
rcls@ecomp.poli.br

Bastos-Filho, C. J. A.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
carmelo@ecomp.poli.br

Resumo

O NrPSR é um novo algoritmo de roteamento adaptativo-alternativo para redes totalmente ópticas. Nesse algoritmo são achadas as Nr melhores rotas disjuntas para um dado par origem-destino segundo o algoritmo de Yen e cada rota é valorada utilizando a função custo PSR. Com o intuito de testar o desempenho e provar a robustez do algoritmo NrPSR foi realizado, nesse projeto, um conjunto de simulações nas quais foram feitas variações de cenário. Para efeito de comparação foram utilizados os resultados obtidos com algoritmos já conhecidos na literatura.

Abstract

The NrPSR is a new adaptive-alternative routing algorithm for all-optical networks. In this algorithm are found the Nr best disjoint routes for a given pair source-destination according the Yen algorithm and each route is valued using the PSR cost function. In order of test the performance and prove the algorithm strength was realized, in this project, a simulation set in which were made scenarios variations. For comparison were used the results obtained with algorithms known in the literature.

1 Introdução

O aumento da demanda de tráfego de serviços de telecomunicação vem crescendo a cada dia. Atualmente, as tecnologias implantadas nas redes de comunicações não possuem recursos para suprir a demanda prevista. A única alternativa viável para atender a este crescente aumento da demanda de tráfego de serviços de telecomunicações é a utilização de redes ópticas [1], pois elas propiciam uma alta capacidade de transmissão, baixa atenuação de sinal baixa dispersão de sinal e um baixo custo por bit transmitido.

As redes ópticas podem ser divididas em opacas, transparentes ou translúcidas [2]. As redes ópticas opacas são aquelas que possuem regeneradores de sinal em todos os nós da rede. As redes ópticas transparentes não possuem regeneradores e operam totalmente em domínio óptico. As redes translúcidas possuem regeneradores em alguns nós da rede, tentando dessa forma balancear o custo. Regeneradores são caros, mas são dispositivos capazes de recuperar a qualidade do sinal em redes impactadas por penalidades da camada física [1].

As redes ópticas com gerenciamento dinâmico que utilizam a tecnologia de multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM) possuem dois problemas: roteamento e alocação de comprimentos de onda (RWA). O primeiro consiste em encontrar uma rota entre os nós origem e destino da requisição de conexão (RA). O segundo trata-se de selecionar um comprimento de onda disponível no percurso (WA). Para resolver esses problemas existem duas abordagens: resolver os dois problemas de forma conjunta ou solucioná-los de forma separada

Para resolução do problema roteamento a estratégia mas comumente usada é a utilização do algoritmo de *Dijkstra*, no qual é atribuída a chamada o caminho com menor distância, porém existem vários algoritmos na literatura que tentam resolver esse problema levando em consideração outras métricas como menor número de fibras percorridas, caminho menos congestionado, ou através de funções custo que levam em consideração o estado atual da rede. Entre os algoritmos clássicos para WA podem ser citados [3]: *First Fit* (FF), *Random-Pick* (RP), *Most Used* (MU), *Least Used* (LU), *Max-Sum* (MS), *Relative Capacity Loss* (RCL) e o *Distributed Relative Capacity Loss* (DRCL). Esses algoritmos levam em consideração a carga da rede e alocam o comprimento de onda abstraído qualquer penalidade no canal. Recentemente, foram propostos alguns algoritmos de WA que consideram efeitos da camada física (IA-WA) como o FFwO [4], FFwSS [5], AFFwSS[6], *Best Fit* (BF) [7] e *Just Enough* (JE) [7].

Nesse projeto teve-se como principal objetivo fazer testes entre os algoritmos de WA e RA e o algoritmo de roteamento NrPSR. O NrPSR um novo algoritmo de roteamento adaptativo-alternativo para redes totalmente ópticas proposto pelo Prof. Dr. Carmelo José Albanes Bastos-Filho, o aluno de mestrado André Xavier e colaboradores. Nessa nova abordagem para resolver o sub-problema de roteamento são achadas as *Nr* melhores rotas disjuntas para um par de nós origem-destino segundo o algoritmo de Yen [8] e cada rota é valorada utilizando a função custo PSR [9] (*Power Series Routing*). O desempenho das *Nr* rotas é calculada segundo uma das políticas de escolha de rota. Foram desenvolvidas três possíveis políticas a serem utilizadas pelo algoritmo, *Capacity Loss* (CL), *Maximum Wavelength Matching Factor* (MaxK) e *Minimum Wavelength Matching Factor* (MinK). A primeira baseia-se no funcionamento do DRCL e tenta diminuir a perda de capacidade da rede escolhendo a rota com menor número de enlaces. A segunda política, escolhe a rota com a maior quantidade de comprimentos de onda livres. A terceira, escolhe para a chamada a rota que obtiver o menor número de comprimento de ondas livres. Abaixo é mostrado o pseudocódigo do algoritmo NrPSR.

Algoritmo 1. Pseudocódigo do NrPSR

1. Entrada: Topologia, Nós fonte e destino, *Nr*
2. Para cada uma das *Nr* rotas encontradas faça
3. Procure uma nova rota valorada pela função custo PSR do nó fonte ao destino;
4. Armazene a rota encontrada;
5. Fim do Para
6. Avalie o desempenho de cada rota encontrada, conforme a política estabelecida;
7. Retorne: a rota com melhor desempenho.

Esse novo algoritmo utiliza-se do PSR que é uma função aplicada para se construir uma função adaptativa a ser utilizada em redes ópticas. Essa função está baseada na expansão da função custo em série de potência. Nele, parâmetros de redes simples como disponibilidade e comprimento do enlace são usados como variável de entrada. A sua construção consiste, basicamente, de três passos: escolha dos parâmetros que serão levados em consideração, expansão da função de custo em termos de série e utilizar de um algoritmo de otimização para encontrar os melhores coeficientes para a série. O processo encontra-se descrito na tabela abaixo.

Tabela 1. Passos para construção do PSR

Função	Descrição	Implementação
Passo 1	Escolha das variáveis da função custo do enlace.	Especialista determina quais variáveis devem ser utilizadas.
Passo 2	Expansão da função custo em série.	Podem ser utilizadas várias séries.
Passo 3	Determinação dos coeficientes da série.	Uso de algum algoritmo de otimização

Devido à impossibilidade de achar analiticamente o desempenho dos algoritmos de WA em conjunto com o NrPSR nas redes ópticas e a inexistência de sistemas reais disponíveis para medições, todos os testes de desempenho foram realizados no SIMTON [10]. O SIMTON é uma plataforma computacional de simulação de redes ópticas desenvolvida em colaboração científica entre a Universidade de Pernambuco e a Universidade Federal de Pernambuco. Em seguida é mostrado a tela principal do SIMTON.

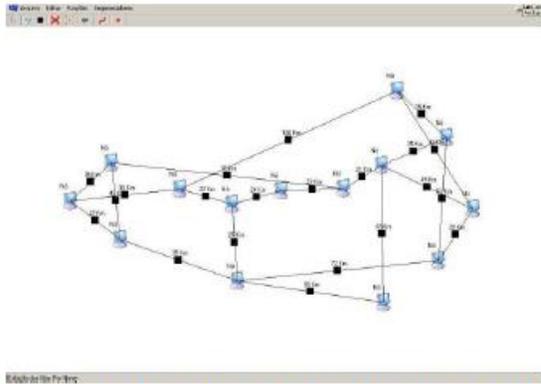


Figura 1 - Tela Principal do simulador de redes ópticas SIMTON.

Paralelamente, esse projeto o bolsista de iniciação científica realizou pesquisa no campo de sobrevivência em redes totalmente ópticas. Em redes ópticas uma falha em um elemento de rede pode causar danos a várias chamadas ativas na rede. Devido a isso todas as redes deveriam ser tolerantes a falha para evitar interrupção dos serviços. As principais causas de falhas em redes ópticas são:

- Erro humano como a quebra de algum cabo de fibra ótica por alguém operando uma retroescavadeira;
- Falha de equipamentos como o mau funcionamento de transmissores, receptores ou controladores;
- Desastres naturais como terremotos, enchentes e outros.

A restauração de falhas é uma técnica de sobrevivência utilizada em redes ópticas. Nessa técnica, uma nova rota disponível é encontrada dinamicamente para cada chamada que esteja passando no ponto de falha da rede. Há duas formas clássicas de restauração: restauração por enlace, no qual é encontrado um novo caminho entre o nó anterior e posterior a falha, e restauração por caminho no qual a rota que sofreu a falha tem seus recursos liberados e é encontrada uma nova rota para a chamada.

2 Trabalhos Relacionados

O PSO é uma técnica de inteligência computacional proposta por Kennedy e Eberhart em 1995 e sua descoberta foi feita a partir do estudo do comportamento da formação dos pássaros em um bando em voo. Essa técnica é composta por um conjunto de partículas, o qual é denominado enxame. A posição de cada partícula no espaço de busca representa uma possível solução para o problema a ser otimizado. Basicamente, uma partícula contém três informações, que podem ou não serem atualizadas a cada iteração, são elas: sua velocidade, a sua posição atual e a melhor posição alcançada. No início do algoritmo, as partículas são criadas de forma aleatória, uniformemente distribuída, ao longo do espaço de busca. Uma vez criadas, estas partículas movem-se, a cada iteração, ao longo do espaço de busca regida por equações simples de atualização de posição e velocidade. Abaixo, está apresentado o pseudocódigo do PSO.

Algoritmo 2. Pseudocódigo do PSO.

```

1.  Geração de partículas aleatórias;
2.  Para cada iteração t faça
3.    Para cada partícula i do enxame faça
4.      Calcule a nova velocidade da partícula i;
5.      Calcule a nova posição da partícula i;
6.      Calcule a aptidão da partícula i;
7.      Se a posição atual é a melhor já encontrada então
8.        Defina a melhor posição como posição atual;
9.      Fim do Se
10.     Se a posição atual é a melhor já encontrada pelo enxame
então
11.       Defina a melhor posição do enxame como posição
atual;
12.     Fim do Se
13.   Fim do Para
14. Fim do Para
    
```

3 Configuração da Simulação

Na implementação do PSO, o fitness, ou aptidão da partícula é representada pela probabilidade de bloqueio dela após uma simulação de 100.000 chamadas a rede utilizando como coeficientes da função custo PSR, as suas posições no espaço de busca. Dessa forma ao fim da etapa de treinamento, a partícula que possuir a menor probabilidade de bloqueio será a mais apta, logo será a que possui os melhores coeficientes para a especificação de rede utilizada.

Nas simulações do PSO foram definidas que a etapa de treinamento possuiria 200 iterações e que o enxame, 30 partículas. Também ficou definido que a topologia de comunicação entre as partículas seria a topologia na qual cada partícula pode se comunicar apenas com suas vizinhas, lBest. Utilizando esse tipo de vizinhança as partículas ficam menos susceptíveis a ficarem presas em pontos de mínimos locais.

Todas as variáveis descritas anteriormente: número de chamadas, de iterações, de partículas e o tipo de topologia de comunicação já foram citadas na literatura [9] como o melhor conjunto de valores para a resolução desse problema. Na tabela 1 estão outras informações referentes a etapa de treinamento do PSO.

Tabela 2. Parâmetros da etapa de treinamento.

Parâmetro	Valor	Definição
$c1, c2$	2,05	Parâmetro para atualizar a velocidade.
$\epsilon1, \epsilon2$	U[0,1]	Números aleatórios para distribuição uniforme.
X	0,72984	Constriction Factor.
S	[-1,+1]	Espaço de busca do PSO.
V	[-1,+1]	Velocidade.

Nas simulações realizadas para analisar a probabilidade de bloqueio foi assumido uma rede comutada por circuito e uma conexão bidirecional. As penalidades da rede utilizadas foram: a emissão espontânea do amplificador (*Amplified Spontaneous Emission – ASE*), dispersão do modo de polarização (*Polarization Mode Dispersion – PMD*), interferência entre canais e o efeito de ganho de saturação nos amplificadores. Em [11] pode ser encontrado os parâmetros utilizados nas simulações.

4 Resultados

Foi realizado um conjunto de simulações nas quais foram feitas variações de política de escolha de rotas, carga da rede, topologia de rede, formato de tráfego e algoritmo de alocação de comprimento de onda. Nessas simulações foi utilizada o número de rotas (Nr) como 3.

Dentre as três políticas de escolha de rota utilizadas pelo algoritmo foi notado que a CL e o MaxK obtiveram melhores resultados em comparação com a MinK. A explicação para o resultado obtido pela MinK se dá ao fato que rotas que possuem mais canais ativos, ou seja com menos comprimentos de ondas livres, são mais penalizadas e acabam sendo bloqueadas devido a qualidade do sinal. Em seguida é exibido o gráfico de probabilidade de bloqueio por carga dessas políticas em duas redes bastante conhecidas na literatura.

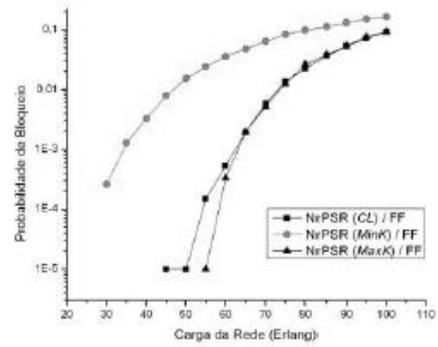


Figura 2 - Gráfico de comparação das políticas na rede NSFNet.

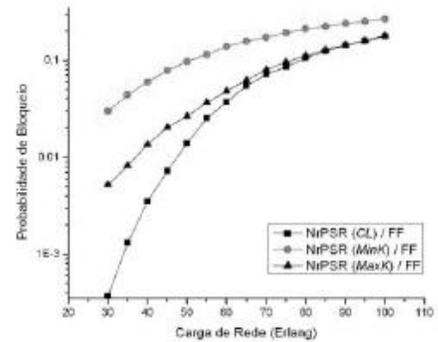


Figura 3. Gráfico de comparação das políticas na rede Pacific Bell Modificada.

Na Fig. 4, nota-se que as políticas MaxK e CL obtiveram resultados semelhantes na rede NSFNet, sendo o MaxK levemente melhor em alguns pontos de carga. Na Fig. 5, agora na rede Pacific Bell Modificada, a política CL obteve um resultado melhor ou igual a obtida pelo MaxK. Em ambas simulações foram utilizado o algoritmo de comprimento de onda FF, porém resultados semelhantes foram encontrados utilizando os algoritmos MU e DRCL em conjunto com o NrPSR.

Após a análise dos resultados obtidos nas simulações entre as políticas do NrPSR, foram escolhidos as políticas CL e o MaxK para comparação com outros algoritmos nas redes Pacific Bell e NSFNet, respectivamente. Os algoritmos a serem comparados foram: o *Shortest Path* (SP) no qual é escolhida a rota com menor distância, *Minimum Hop* (MinHops) no qual a rota escolhida possui a menor quantidade de enlaces, OSRN-R no qual é escolhida a rota com maior relação sinal ruído e o PSR. O resultados obtidos na comparação com outros algoritmos mostraram que em ambas redes utilizadas, o algoritmo NrPSR obteve uma probabilidade de bloqueio menor que todos os outros algoritmos de roteamentos testados. Além da variação das redes, foram feitas variações de algoritmos de alocação de comprimento de onda e nos 6 (seis) cenários testados o algoritmo proposto obteve resultado expressivamente

melhor. Essa superioridade do NrPSR fica visualmente evidente nos gráficos de probabilidade de bloqueio por carga mostrados a seguir.

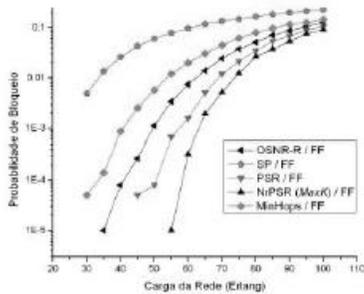


Figura 4. Comparação dos algoritmos de roteamento na rede NSFNet utilizando o WA FF.

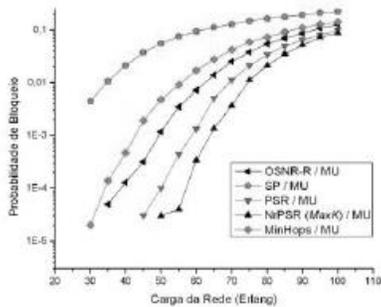


Figura 5. Comparação dos algoritmos de roteamento na rede NSFNet utilizando o WA MU.

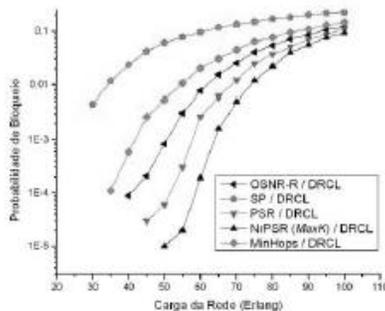


Figura 6. Comparação dos algoritmos de roteamento na rede NSFNet utilizando o WA DRCL.

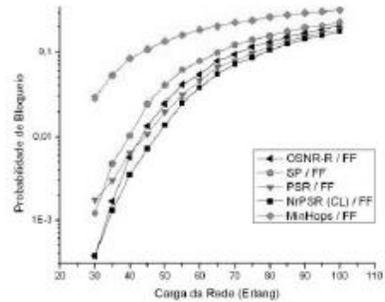


Figura 7. Comparação dos algoritmos de roteamento na rede Pacific Bell Modificada utilizando o WA FF.

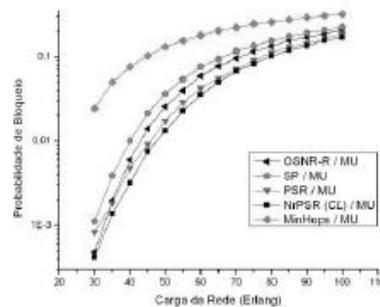


Figura 8. Comparação dos algoritmos de roteamento na rede Pacific Bell Modificada utilizando o WA MU.

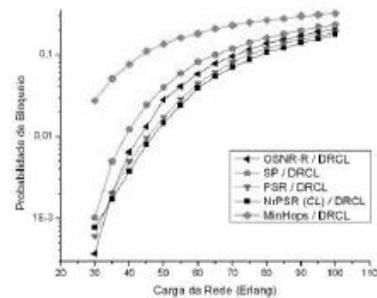


Figura 9. Comparação dos algoritmos de roteamento na rede Pacific Bell Modificada utilizando o WA DRCL.

Nas simulações realizadas também foram analisados o tempo necessário para os algoritmos resolverem o problema de RWA em ambas as redes com os três WA utilizados. No geral foi observado que o OSNR-R obteve o maior tempo devido a computação necessária para encontrar a rota com a melhor relação sinal ruído. O NrPSR ficou em segundo lugar devido, principalmente, a sua necessidade de calcular $Nr-1$ rotas extras em relação aos outros algoritmos. O PSR, MinHops e SP, obtiveram resultados semelhantes já que podem ser considerados algoritmos estáticos. Ainda na análise de tempo, foi observado que as simulações nas quais eram utilizado o DRCL obteve o maior tempo, devido ao cálculo da perda de capacidade re-

lativa em toda a rede [3], e as que utilizaram o FF resolverem o problema de RWA com menor tempo. Abaixo é mostrado o gráfico de tempo de resolução do RWA por carga dos algoritmos de alocação FF e DRCL em ambas as redes.

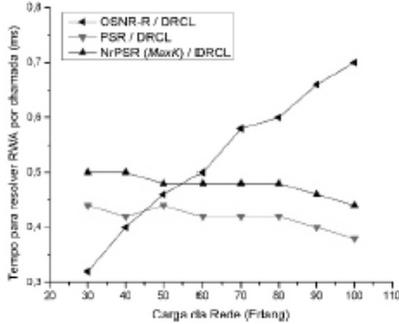


Figura 10. Gráfico do desempenho da resolução do RWA utilizando DRCL na NSFNet.

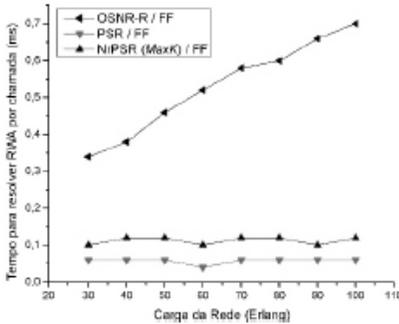


Figura 11. Gráfico do desempenho da resolução de RWA utilizando FF na NSFNet.

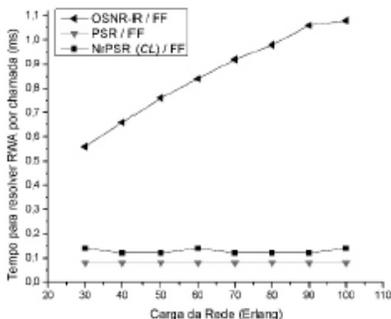


Figura 12. Gráfico do desempenho da resolução do RWA utilizando FF na Pacific Bell Modificada.

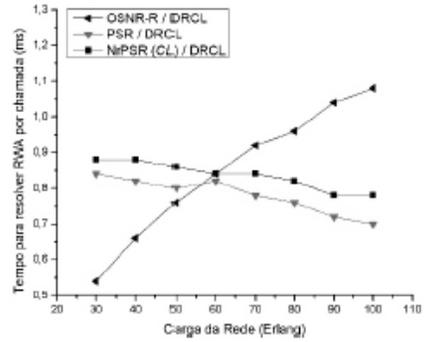


Figura 13. Gráfico do desempenho da resolução de RWA utilizando DRCL na Pacific Bell Modificada.

Para testar a robustez do algoritmo foi utilizado na análise em R. Nessa análise é dado ao algoritmo uma matriz de tráfego uniforme no qual simula a variação do tráfego ao longo do dia. No caso testado foi utilizada a maior variação de tráfego na matriz (R=100%). Os resultados obtidos mostraram que mesmo com tráfego uniforme o algoritmo proposto mostrou melhor desempenho em todos os cenários. Essa conclusão fica explícita na visualização dos box-plots criados com o resultado obtidos nos cenários simulados.

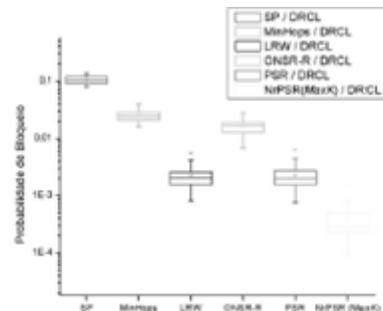


Figura 14. Análise em R utilizando DRCL na NSFNet.

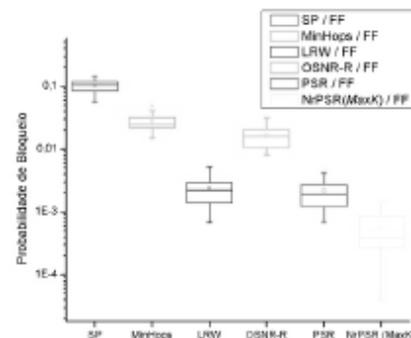


Figura 15. Análise em R utilizando FF na NSFNet.

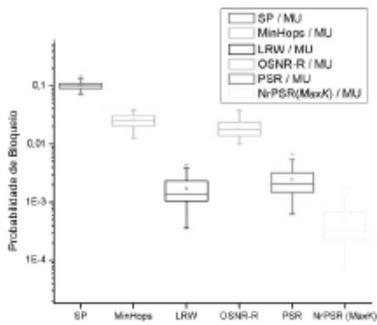


Figura 16. Análise em R utilizando MU na NSFNet.

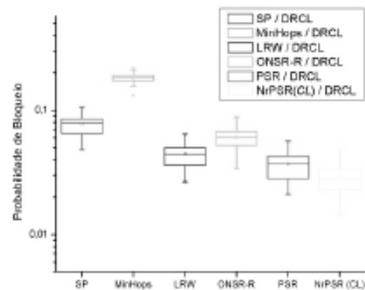


Figura 17. Análise em R utilizando DRCL na Pacific Bell Modificada.

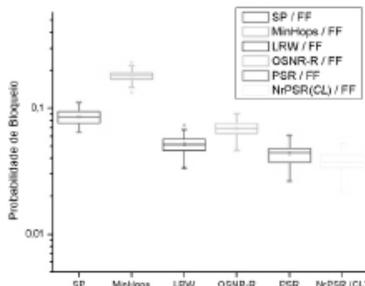


Figura 18. Análise em R utilizando FF na Pacific Bell Modificada.

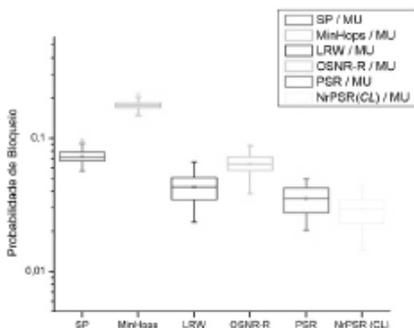


Figura 19. Análise em R utilizando MU na Pacific Bell Modificada.

No campo de sobrevivência em redes ópticas foram obtidos resultados bastante animadores em restauração de

falhas simples e falhas duplas. Nessas simulações foram comparados os desempenhos dos algoritmos MinHops, LRW, SP e OSNR-R em situações nas quais as falhas eram geradas a partir de um determinado momento em todos os enlaces da rede simulada. Os resultados obtidos mostraram que o algoritmo de roteamento OSNR-R obteve uma taxa de falha na restauração menor que os outros algoritmos testados tanto nas situações com falhas duplas e simples. Abaixo estão dispostos alguns gráficos que comprovam o melhor desempenho do OSNR-R.

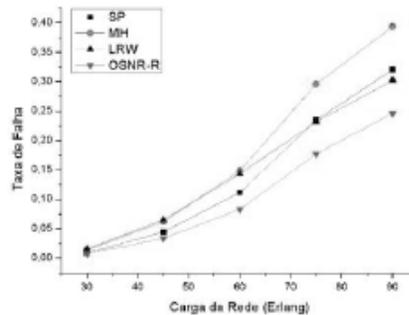


Figura 20. Restauração de falha simples na Pacific Bell Modificada com 21 comprimentos de ondas.

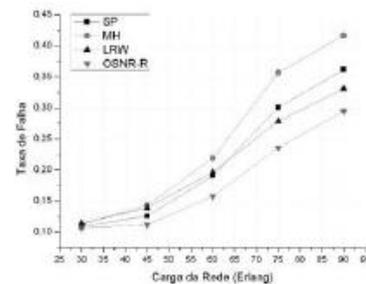


Figura 21. Restauração de falha dupla na Pacific Bell utilizando 21 comprimentos de ondas.

5 Conclusão

Esse projeto propôs realizar testes de desempenho, entre os algoritmos de RA e WA e a nova proposta de algoritmo de roteamento adaptativo-alternativo NrPSR. O algoritmo testado é proposta de RA do Prof. Dr. Carmelo José Albanes Bastos-Filho, o aluno de mestrado André Xavier e colaboradores. Basicamente, nessa nova abordagem são achadas as *Nr* melhores rotas disjuntas para um par de nós origem-destino assim como o algoritmo de Yen e cada rota é valorada utilizando a função custo PSR.

Na análise o NrPSR foi comparado com quatro conhecidos algoritmos: *Shortest Path*, *Minimum Hops*, OSNR-R e PSR. Nas simulações foram feitas variações, principal-

mente, na topologia da rede, carga da rede, política de escolha de rota e o algoritmo de alocação de comprimento de onda. Em todos os cenários testados o algoritmo proposto obteve uma probabilidade de bloqueio menor que os outros algoritmos de roteamento. Dentre as três políticas de escolha de rota utilizados nos testes foi comprovado que a MaxK e a CL são superiores ao MinK. Em contrapartida, NrPSR mostrou-se mais custoso computacionalmente que outros três algoritmos devido a sua necessidade de calcular rotas extras.

Por fim, os resultados obtidos foram enviados e aceitos em forma de artigo no 2011 SBMO/IEEE *International Microwave Optoelectronics Conference* (IMOC 2011). O IMOC é um fórum bienal de tecnologia de telecomunicação organizado pela Sociedade Brasileira de Microondas e Optoeletrônica (SBMO) e co-patrocinado pela IEEE *Microwave Theory and Techniques Society of the Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE MTT-S)

Referências

- [1] X. Yang, B. Ramamurthy. *Sparse regeneration in translucent wavelength-routed optical networks: Architecture, network design and wavelength routing*. Photonic Network Communications, v. 10, n. 1, p. 39–53, 2005.
- [2] R. Ramamurth, B. Mukherjee et al. *Transparent vs. opaque vs. translucent wavelength routed optical networks*. OFC/IOOC 1999. v.1, p. 59–61, 1999.
- [3] H. Zang ; J. P. Jue, B. Murkherjee, *A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical wdm networks*, Optical Networks Magazine, v. 1, n. 1, p. 47–60, Janeiro 2000.
- [4] J. He; M. Brandt-Pearce. *RWA using wavelength ordering for crosstalk limited networks*. OFC 2006, p. 3.
- [5] J. He; M. Brandt-Pearce. *Dynamic Wavelength Assignment Using Wavelength Spectrum Separation for Crosstalk Limited Networks*, BROAD-NETS 2006, p. 1-9.
- [6] J. He; M. Brandt-Pearce, Y. Pointurier et al., *Adaptive Wavelength Assignment Using Wavelength Spectrum Separation for Distributed Optical Networks*. Proc. of the IEEE International Conference on Communications - ICC, June 2007, p. 2406-2411.
- [7] N. Zulkifli, R. C. Almeida, K. M. Guild, *Efficient resource allocation of heterogeneous services in transparent optical networks*, Journal of Optical Networking, v. 6, n. 12, p. 1349-1359, Dezembro. 2007.
- [8] J. Y. Yen, *Finding the K shortest loopless paths in a network*. Management Science, p. 712-716, julho 1971.
- [9] Chaves, D. A. C. Algoritmos Rápidos de IRWA para redes totalmente ópticas. 28 de fevereiro de 2008. p. 104. Dissertação. Programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica.
- [10] D. A. R. Chaves, J. F. Martins-Filho, C. J. A. Bastos-Filho, Ferramenta computacional para simulação de redes ópticas transparentes . MOMAG 2008 – evento agregado ao 13º SBMO Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica e o 8º CBMag Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo, Florianópolis, 2008.
- [11] Xavier, A. V. S., Silva, R. C. L., Bastos-Filho, C. J. A., Martins-Filho, J. F., Chaves, D. A. R. *An Adaptive-Alternative Routing Algorithm for All-Optical Networks*. International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC'2011), 2011, Recife. SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference, 2011.